

DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA
ORIENTAR A USUARIOS DE SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO EN LA
ELECCIÓN DE LA MEJOR OPCIÓN BASADO EN CRITERIOS ECONÓMICOS Y
AMBIENTALES, EN LA EMPRESA AIRE ACONDICIONADO Y VENTILACIÓN
SAS.

ANDRÉS MAURICIO GUERRERO AGUDELO

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

PEREIRA

2018

DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA
ORIENTAR A USUARIOS DE SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO EN LA
ELECCIÓN DE LA MEJOR OPCIÓN BASADO EN CRITERIOS ECONÓMICOS Y
AMBIENTALES, EN LA EMPRESA AIRE ACONDICIONADO Y VENTILACIÓN
SAS.

ANDRÉS MAURICIO GUERRERO AGUDELO

Práctica de extensión conducente a trabajo de grado para optar por el título de
Ingeniero Mecánico

Orientador: Ing. Brayan Darío Rosero Coral

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

PEREIRA

2018

Nota de aceptación: _____

Firma del jurado

Firma del jurado

DEDICATORIA

Dedicado a mi abuela, que a pesar de todo siempre lucho y madrugó
para que yo pudiera estudiar ingeniería y llegar a ser ingeniero
para ella,

A mi padre, mi sustento y ejemplo,
que cumplió su promesa con él mismo y siempre estuvo ahí,

A mi madre que eligió para mí la carrera más hermosa de todas,

A mi hermana quien siempre me mantuvo con las ganas de dar buen ejemplo y
que me dio por qué querer mejorar cada día.

Andrés Mauricio Guerrero Agudelo

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos especiales, para todas las personas que influyeron en mí para que me dedicara cada día más a esta ingeniería, a mi familia, a mi novia que me aguantó durante este proceso y que me ayudó con toda su humanidad a obtener este título.

a mis amigos, profesores que compartieron todo su conocimiento y me dieron personas a quien seguir.

A mi director de proyecto por ayudarme en partes claves de este proyecto,

Al ingeniero Alex Osorio por darme la oportunidad de salir al mundo laboral y enseñarme con su mejor cátedra y experiencia, haciendo también posible este título.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	19
1 PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	20
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	21
2 OBJETIVOS	22
2.1 OBJETIVO GENERAL	22
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
3 CONCEPTOS BÁSICOS Y NORMAS QUE TIENEN RELACIÓN CON EL ACONDICIONAMIENTO DE AIRE EN DIFERENTES APLICACIONES EN LA INDUSTRIA COLOMBIANA.	23
3.1 ACONDICIONAMIENTO DE AIRE.....	23
3.2 EQUIPOS UTILIZADOS.....	23
3.3 TECNOLOGÍAS DE AIRE ACONDICIONADO INVERTER OFERTADAS POR LA EMPRESA	29
3.4 EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO MÁS COMERCIALES	31
3.5 CRITERIOS BÁSICOS PARA LA SELECCIÓN DE EQUIPOS.....	31
3.6 NORMAS QUE REGULAN EL EJERCICIO DEL AIRE ACONDICIONADO	32
3.6.1 Protocolo de Montreal.....	32
3.6.2 Protocolo de Kyoto	33
3.6.3 El ejercicio del aire acondicionado en Colombia.....	33
3.7 ANÁLISIS FINANCIERO PARA EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO	34

3.8	VALOR PRESENTE NETO Y LCC	34
3.9	ANÁLISIS AMBIENTAL PARA LOS EQUIPOS DE AIRE	
	ACONDICIONADO	35
3.9.1	Tewi (<i>Total Equivalent Warming Impact</i>)	35
3.9.2	Emisiones directas.....	36
3.9.3	Emisiones indirectas.....	37
4	CLASIFICACIÓN Y CONSUMO ENERGÉTICO DE LAS DIFERENTES	
	TECNOLOGÍAS DE CLIMATIZACIÓN OFRECIDAS POR LA EMPRESA,	
	DEPENDIENDO DE SU APLICACIÓN.....	39
4.1	CONSUMO ENERGÉTICO DE LOS EQUIPOS DE AIRE	
	ACONDICIONADO DE TABLAS Y CATÁLOGOS ACTUALES	39
4.1.1	Convencionales	39
4.1.2	Inverter	40
4.2	PARÁMETROS MÁS IMPORTANTES DE UN EQUIPO DE AIRE	
	ACONDICIONADO PARA LOS CLIENTES DE LA EMPRESA	40
5	ANÁLISIS FINANCIERO POR MEDIO DE CÁLCULOS PARA ESTIMAR EL	
	VALOR PRESENTE DE LOS EQUIPOS INCLUYENDO LOS COSTOS A LO	
	LARGO DE SU VIDA ÚTIL.....	41
5.1	COSTOS DE LOS EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO	41
5.1.1	costo de la inversión inicial	41
5.1.2	Mano de obra.....	41
5.1.3	Materiales y tubería	42
5.1.4	Obras civiles	42
5.1.5	Desagües	42
5.1.6	Costos de energía eléctrica	43
5.1.7	Costos de mantenimiento y reparaciones.....	43

5.1.8	Costo de retirada del equipo.....	43
5.2	EQUIPOS PARA LA REALIZACIÓN DEL ANÁLISIS	44
5.3	CONDICIONES DE ANÁLISIS.....	44
5.4	LCC (<i>Life Cycle Cost</i>).....	44
5.4.1	Lcc equipo de aire acondicionado convencional	47
5.4.1.1	Inversión inicial equipo convencional	47
5.4.1.2	Costo del consumo energético equipo convencional	48
5.4.1.3	Costos de mantenimiento y reparaciones equipo convencional..	49
5.4.1.4	Costo de puesta a disposición equipo convencional.....	50
5.4.2	Cálculo de los factores de valor presente.....	50
5.4.2.1	Factor de valor presente para traer a valor presente el flujo de caja del consumo energético	50
5.4.2.2	Factor de valor presente para traer a valor presente el flujo de caja del mantenimiento y reparaciones	51
5.4.3	Lcc equipo de aire acondicionado inverter.	52
5.4.3.1	Inversión inicial equipo inverter	53
5.4.3.2	Costo del consumo energético equipo inverter	53
5.4.3.3	Costos de mantenimiento y reparaciones equipo inverter	55
5.4.3.4	Costo de puesta a disposición equipo inverter.....	55
6	ANÁLISIS CUANTITATIVO DE IMPACTO AMBIENTAL, EMISIONES DIRECTAS E INDIRECTAS DE LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS DE CLIMATIZACIÓN.....	56
6.1	EMISIONES DE UN EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO	56
6.2	TEWI (TOTAL EQUIVALENT WARMING IMPACT).....	56
6.3	CÁLCULO DE LAS EMISIONES.....	57

6.3.1	Emisiones directas equipo convencional	59
6.3.2	Emisiones indirectas equipo convencional	60
6.4	CÁLCULO DEL TEWI Y RESULTADOS EQUIPO CONVENCIONAL	60
6.4.1	Emisiones directas equipo inverter	61
6.4.2	Emisiones indirectas equipo inverter	61
6.5	Cálculo del tewi y resultados equipo inverter	61
7	COMPARACIÓN DE ANÁLISIS AMBIENTAL Y ECONÓMICO PARA LAS TECNOLOGÍAS DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE Y MODELO CON RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS PARA INCLUIR EN COTIZACIONES.	62
7.1	COMPARACIÓN DE COSTOS DEL CICLO DE VIDA DE LOS EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO	62
	Resultados Lcc	62
7.2	COMPARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DURANTE EL DICLO DE VIDA DE LOS EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO.	63
	Resultados tewi	63
7.3	ORGANIZACIÓN DE LAS COMPARACIONES DE LOS ANÁLISIS	63
7.3.1	Análisis financiero.....	63
7.3.2	Análisis ambiental.....	67
7.4	BASE DE DATOS	69
7.5	FORMATO PARA AGREGAR A LAS COTIZACIONES Y SU ACTUALIZACIÓN	70
7.6	COTIZACIÓN REAL.....	70
8	CONCLUSIONES	71
	BIBLIOGRAFÍA	73

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Emisiones directas.....	36
Cuadro 2. Emisiones indirectas.....	37
Cuadro 3. Consumo de los tipos de equipos de aire de aire acondicionado convencionales.....	39
Cuadro 4. Consumo de los tipos de equipos de aire de aire acondicionado inverter	40
Cuadro 5. Valores del costo de ciclo de vida de los equipos según su tecnología en moneda colombiana	62
Cuadro 6. Valores de emisiones TEWI de los equipos según su tecnología en toneladas de CO ₂	63
Cuadro 7. Datos completos para el análisis del costo ciclo de vida del equipo de aire acondicionado convencional e inverter	64
Cuadro 8. Datos generales del factor de emisiones y porcentajes de emisión de CO ₂ para el análisis de los equipos.....	67
Cuadro 9. Datos generales para el análisis ambiental de los equipos	67
Cuadro 10. Datos consignados en los cuadros de Excel y resultados de las emisiones de CO ₂ en toneladas para el equipo convencional.....	68
Cuadro 11. Datos consignados en los cuadros de Excel y resultados de las emisiones de CO ₂ en toneladas para el equipo inverter	69

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Tarifas anuales y los incrementos Empresa de energía de Pereira	46
Tabla 2. Inversión inicial equipo de aire acondicionado convencional	47
Tabla 3. Datos consultados con clientes equipo convencional	48
Tabla 4. Costos de mantenimiento y reparaciones equipo convencional	49
Tabla 5. Inversión inicial equipo de aire acondicionado inverter	53
Tabla 6. Datos consultados con clientes para el equipo inverter.....	54
Tabla 7. Factores de emisión de las centrales hidroeléctricas según la UPME	59

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Ciclo básico de refrigeración	23
Figura 2. Elementos básicos equipo de aire acondicionado	24
Figura 3. Equipo de aire acondicionado tipo paquete	25
Figura 4. Esquema equipo de aire acondicionado tipo ventana	25
Figura 5. Equipo de aire acondicionado tipo ventana.....	26
Figura 6. Equipo de aire acondicionado tipo mini Split completo	26
Figura 7. Equipo de aire acondicionado tipo mini Split unidad interior	27
Figura 8. Equipo de aire acondicionado tipo Cassette	27
Figura 9. Equipo de aire acondicionado tipo suspendido techo o piso techo	28
Figura 10. Esquema de equipo de aire acondicionado tipo central	28
Figura 11. Equipo de aire acondicionado tipo central.....	29
Figura 12. Índice de precios al consumidor noviembre 2017	47
Figura 13. Factores de emisiones para sistemas refrigeración y aire acondicionado	58

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. BASE DE DATOS.....	76
Anexo B. FORMATO PARA AGREGAR A COTIZACIONES Y SU ACTUALIZACIÓN.....	90
Anexo C. COTIZACIÓN REAL.....	99

GLOSARIO

CAPACITOR	Dispositivo capaz de almacenar energía usado para arranques.
CONDENSADOR	Elemento encargado del intercambio de calor que condensa el refrigerante al interior del ciclo de refrigeración.
CAPILAR	Tipo de control de flujo presente en algunos equipos de aire acondicionado.
CONDENSADORA	Nombre o formalismo para la unidad exterior de un sistema uno a uno de aire acondicionado.
CARGA TÉRMICA	Se presenta cuando un espacio es sometido a generación de calor.
CAUDAL	Cantidad de fluido que circula por una sección de un ducto (tubería, río, canal, etc.) por unidad de tiempo.
CLIMATIZACIÓN	Controlar la temperatura de un lugar por medio de un sistema de acondicionamiento de aire.
MANEJADORA	Nombre o formalismo que se le asigna en la industria a la unidad interior en un sistema uno a uno de aire acondicionado.
PLANTA TÉRMICA	Instalación empleada para la generación de energía por medio de elementos termodinámicos.
REFRIGERACIÓN	Cambiar o mantener el nivel de calor de un cuerpo o recinto.

RETORNO	Conducto trasero o espacio de un equipo de aire acondicionado por el cual el aire llega para ser ventilado.
RUBATEX	Espuma aislante para la tubería de cobre.
TERMODINÁMICA	Rama de la ciencia que describe el intercambio de energía de los cuerpos.

LISTA DE NOMENCLATURA, ABREVIACIONES Y SIMBOLOS

° C	Grados Celsius (temperatura)
VRV	Velocidad y refrigerante variable
m ²	Metros cuadrados
cfm	<i>Cubic feet per minute</i> (pie cúbico por minuto)
btu/h	<i>british thermal unit per hour</i> (Unidad térmica británica por hora)
SAO	Sustancia agotadora de la capa de ozono
PAO	Potencial agotador de la capa de ozono
UTO	Unidad técnica de ozono
LCC	<i>Life Cycle Cost</i> (Costo del ciclo de vida)
VPN	Valor presente neto
TEWI	Total equivalent warming impact (Impacto total equivalente de calentamiento)
CO ₂	Dióxido de carbono
GEI	Gases de efecto invernadero
kW	KiloVatio
AMP	Amperios
VRF	<i>Variable refrigerant flow</i> (flujo variable de refrigerante)
FVP	Factor de valor presente
i _e	Incremento en costos energéticos

i_m	Incremento en costos de mantenimiento y reparación
d	Factor de devaluación o índice de precios
IPC	Índice de precios
KWh	Kilovatio hora
CII	Costo de inversión inicial
CE	Costo de consumo energético
CM	Costo de mantenimiento
CD	Costo de puesta a disposición de un equipo
m	Tiempo de vida útil de un equipo en años
α	Porcentaje a pagar del costo de venta del equipo
h/día	Horas por día
PCG	Potencial de calentamiento global
R-410A	Refrigerante
kg	Kilogramos
A/C	Aire acondicionado
kg CO ₂ / kWh	Kilogramos de dióxido de carbono producidos por cada kilovatio hora consumido
UPME	Unidad de planeación minero-energética
ED	Emisiones directas
EI	Emisiones indirectas
ton CO ₂	Toneladas de dióxido de carbono

RESUMEN

El ejercicio del aire acondicionado es una rama de la ingeniería mecánica que debido al cambio climático que se está viviendo está tomando mucha relevancia en cuanto a solventar las necesidades que se presentan en una gran diversidad de lugares, además de que es fundamental que se conozca el comportamiento ambiental de un equipo de aire acondicionado y abordar el tema de sus costos desde el punto de vista del cliente de la empresa Aire Acondicionado y Ventilación SAS, mostrando diferencias monetarias que sean de utilidad para que puedan tomar decisiones en cuanto a sus inversiones, por esto el presente documento muestra la base teórica de conocimiento de los equipos de aire acondicionado adquirida en la práctica y cálculos de carácter financiero y ambiental con el cual se comparan las tecnologías actuales de un equipo de aire acondicionado sustentando por medio de estos cuál de los equipos genera un mayor impacto ambiental, cual cuesta más y cuál es la decisión más factible, además se evidencian todas las modificaciones y adiciones a los modelos de cotización de la empresa, para que los análisis puedan ser incluidos en cada cotización a partir de su realización y que el cliente se dé cuenta de que en la empresa se toman el tiempo para hacer análisis que contribuyen con su economía y con el medio ambiente.

INTRODUCCIÓN

Actualmente en la empresa Aire Acondicionado y Ventilación SAS se cuenta con un modelo de cotización exclusivamente monetario, en el cual se cotizan la instalación de los equipos de aire acondicionado, y no está mal, pero sin importar que tanto se le relate a un cliente sobre un tipo de tecnología de aire acondicionado que le ahorrará energía, y que le será menos costosa a futuro, en la mayoría de casos estos optan por el equipo más económico, por esto nace la idea de adentrarse en un análisis financiero que muestre los beneficios monetarios que se obtienen al invertir un poco más en un equipo ahorrador, mostrándole así al cliente números para que se oriente mejor, además de entrar a un campo interesante como lo es el comportamiento ambiental del equipo de acuerdo a sus emisiones al medio ambiente, ya que si bien esto no es de importancia para muchos clientes, algunos preguntan por ello e incluso piden documentación del tema, porque ya tienen conciencia hacia un mundo en el cual las personas que se encuentran involucrados en el mundo del aire acondicionado deben tener en cuenta éste comportamiento y seleccionar equipos que nos garanticen un menor impacto ambiental.

En el proyecto se muestran los cálculos, resultados y comparación de los análisis ambiental y financiero realizados a dos equipos con las mismas condiciones de instalación, uso, operación, entre otras, pero con diferentes tecnologías de diseño, cabe resaltar que en la práctica se realiza el estudio para varios pares de equipos, pero no se muestran en este proyecto por practicidad. Este estudio es de gran importancia ya que además de busca crear conciencia tanto en los ingenieros de la rama como en los clientes, del impacto ambiental de un equipo de aire acondicionado para esto se aplican herramientas de análisis fundamentales a la hora de la oferta de los equipos de aire, con estos análisis agregados a las cotizaciones de la empresa se puede presentar un informe de cotización más ingenieril, que permite aplicar conceptos claves para la optimización de costos futuros, genera más utilidades a la empresa y da una orientación guiada a los clientes.

1 PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La compañía Pereirana AIRE ACONDICIONADO Y VENTILACION SAS viene atendiendo el mercado de la región Eje Cafetero en lo concerniente al suministro, instalación, reparación y mantenimiento de equipos de climatización y ventilación industrial, elaboración de diseños de sistemas de aire acondicionado y ventilación, realización de interventorías financieras, técnicas y administrativas de proyectos similares, desde su fundación el 11 de junio del 2009.

Los resultados de este ejercicio han sido más que satisfactorios, logrando obtener un mercado grande y representativo en la zona del Eje Cafetero, atendiendo importantes empresas tanto públicas como privadas y desarrollando proyectos representativos en los cuales se han implementado soluciones tecnológicas que han impactado positivamente en la región.

Dado el crecimiento que ha tenido la compañía y el hecho de que para algunos de los usuarios es indispensable un buen manejo energético de los sistemas de aire acondicionado, además de la economía en su inversión, se hace necesario tener un método de análisis y comparación con el cual se pueda presentar una proyección futura de los costos de las diferentes tecnologías en los equipos comerciales, además de un paralelo de consumo energético de los mismos. De incluirse este análisis a la hora de presentar las cotizaciones de los proyectos, el cliente podrá resolver sus dudas y conocer el ahorro de energía y dinero en todos los sistemas para tomar una decisión acorde a sus intereses y a la aplicación requerida.

La práctica que se pretende desarrollar implicará el conocimiento de los tipos de diseño posibles y sistemas manejados por la empresa, para que en base a ellos el estudiante pueda desarrollar un método de análisis y comparación energético,

ambiental y económico que sea aplicable a sistemas de aire acondicionado conociendo sus parámetros.

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Dentro de todas las problemáticas mundiales de las que se habla actualmente, es constantemente tratado el cambio climático y el deterioro de la capa de ozono y sus efectos en la salud de las personas, con el aumento de la temperatura media del planeta. Esta situación ha causado que la instalación de sistemas de climatización deje de ser un lujo que pocas personas puedan adquirir y prácticamente se ha vuelto una necesidad tanto en residencias, oficinas y la industria en general.

El cambio climático y más exactamente el calentamiento global han convertido la venta de sistemas de climatización en una oportunidad de negocio y por tanto cada día este nicho de mercado requiere de más ingenieros calificados que puedan asesorar, seleccionar equipos y calcular su capacidad, además de tener un amplio conocimiento para realizar proyecciones de costos, optimización energética y ambiental, de modo que se pueda ofrecer soluciones personalizadas a cada cliente y/o necesidad en particular.

El diseño de sistemas de acondicionamiento de aire es un proceso de mucho cuidado desde su planeación hasta su ejecución, incluyendo su desempeño energético e interacción con el ambiente, ya que este tipo de soluciones tecnológicas tienen un alto costo, y dependiendo de este comportamiento puede ocasionar pérdidas o ganancias a quienes invierten en estos sistemas. Por lo tanto, formar profesionales responsables con experiencia y conciencia en el desempeño general de los sistemas de acondicionamiento de aire es una tarea fundamental de las empresas de aire acondicionado. Esto es posible por medio de las prácticas empresariales y la vinculación entre la academia y la industria que ello implica, para así contribuir al desarrollo económico local y responder a las necesidades generadas por los cambios ambientales que sufre el planeta.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar una práctica empresarial en la cual se desarrolle un método de análisis comparativo entre los sistemas de climatización para aplicaciones específicas, en temas de impacto ambiental, consumo de energía y costos a futuro, en la empresa Aire Acondicionado y Ventilación SAS, aplicando los conceptos adquiridos en el ámbito académico y durante la realización de esta.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comprender los conceptos básicos y normas que tienen relación con el acondicionamiento de aire en diferentes aplicaciones en Colombia.
- Con ayuda de catálogos y tablas, diferenciar el consumo energético de los equipos convencionales empleados por la empresa, dependiendo de la capacidad de este.
- Realizar proyecciones a futuro, apoyado en criterios técnicos, de los costos de los equipos en el mantenimiento, la instalación, eliminación y el consumo energético, así como del impacto ambiental y la vida útil de los mismos.
- Registrar los valores del consumo energético y los impactos ambientales presentados por los sistemas, para crear una base de datos aplicable en futuros proyectos.
- Relacionar la información obtenida de manera comparativa con el costo del equipo, para ser incluida en cotizaciones de proyectos ofrecidas por la empresa.
- Retroalimentar el proceso académico desde la experiencia adquirida para mejorar éste con base a las necesidades de la industria local, nacional e internacional.

3 CONCEPTOS BÁSICOS Y NORMAS QUE TIENEN RELACIÓN CON EL ACONDICIONAMIENTO DE AIRE EN DIFERENTES APLICACIONES EN LA INDUSTRIA COLOMBIANA.

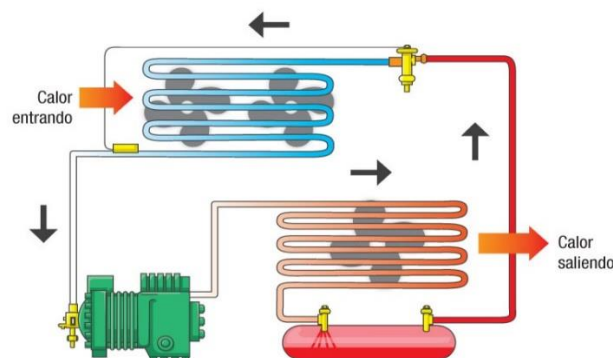
3.1 ACONDICIONAMIENTO DE AIRE

El acondicionamiento del aire es “el proceso que calienta, enfría, limpia, circula aire y controla su contenido de humedad respecto a una base continua” según el libro de refrigeración y aire acondicionado del *AIR-CONDITIONING AND REFRIGERATION INSTITUTE*. [1]

3.2 EQUIPOS UTILIZADOS

Los equipos de aire acondicionado son equipos que operan con el ciclo básico de refrigeración correspondiente al área de la termodinámica, se emplean los elementos del ciclo de forma conveniente para que se haga intercambio de calor con el ambiente y se efectúe la extracción de calor del aire o fluido a enfriar, de esta manera se obtiene un equipo normal de aire acondicionado. Lo anterior en un equipo de aire convencional.

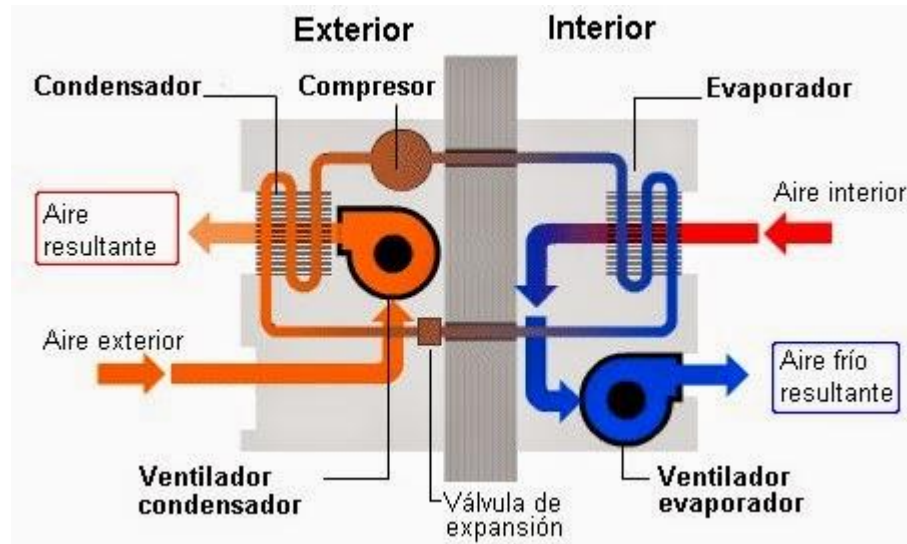
Figura 1. Ciclo básico de refrigeración



Revista cerogradoscelsius [2]

Los equipos naturalmente constan de compresor, condensador (intercambiador de calor), control de flujo (válvula de expansión, capilar, cambio de sección de flujo) y evaporador (intercambiador de calor).

Figura 2. Elementos básicos equipo de aire acondicionado



Conceptos básicos de climatización y tipos de aire acondicionado por Miguel Ángel González. [3]

Casi siempre los equipos de aire se dividen en dos unidades, interna y externa (a excepción de los paquetes y ventanas), que en la práctica se llaman manejadora y condensadora respectivamente.

En la empresa aire acondicionado y ventilación SAS se instalan toda clase de equipos desde los inicios, pero en la actualidad hay unos tipos específicos que son los más utilizados, en esta fase de conceptos se dará una visión rápida a todos ellos, haciendo énfasis en los equipos más utilizados en la empresa.

- Equipos tipo paquete: El equipo tipo paquete es un equipo que consta de todos los elementos mencionados en el ciclo normal, pero se encuentran ubicados en una sola unidad, se puede ubicar en interiores o exteriores.

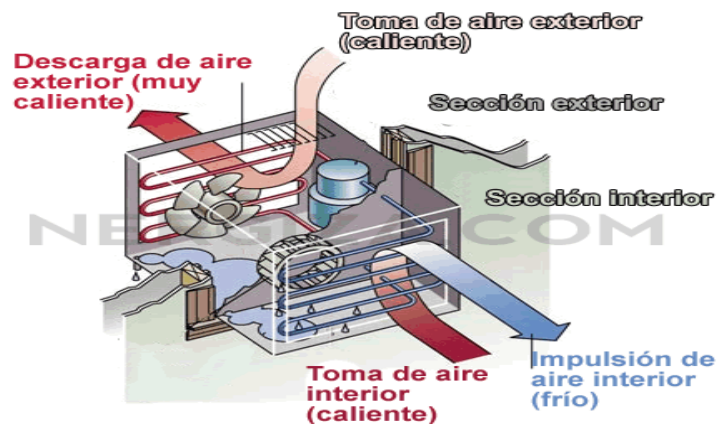
Figura 3. Equipo de aire acondicionado tipo paquete



Airshop Aire Acondicionado Bogotá [4]

- Equipos tipo ventana: El equipo tipo ventana, es un equipo que como el anterior consta de las partes del ciclo en una sola unidad, pero a diferencia del mismo, debe tener una parte a la intemperie o al exterior y es pequeño siempre.

Figura 4. Esquema equipo de aire acondicionado tipo ventana



Energiza [5]

Figura 5. Equipo de aire acondicionado tipo ventana



Aireacondicionadonet.com [6]

- Equipos tipo mini Split: El equipo de aire acondicionado tipo mini Split, consta de los elementos del ciclo básico, la evaporadora se ubica en interiores y la unidad condensadora en exteriores, no es muy grande y es muy usado en residencias.

Figura 6. Equipo de aire acondicionado tipo mini Split completo



Clima ACP premium spa Todo para la industria de la climatización [7]

Figura 7. Equipo de aire acondicionado tipo mini Split unidad interior



Quecalor.com guía de selección [7]

- Equipos tipo Cassette: El equipo tipo Cassette es un equipo igual que el anterior, consta de la evaporadora en la unidad interior y los demás elementos del ciclo en la condensadora o unidad exterior, es muy usado en bancos y salas de espera.

Figura 8. Equipo de aire acondicionado tipo Cassette



LG electronics [8]

- Equipos tipo Suspendido techo o piso techo: Igual que los dos anteriores el equipo suspendido techo o piso techo tiene la evaporadora en la unidad interior y los demás elementos del ciclo en la unidad exterior o condensadora, su unidad interior es un poco más grande y larga que las demás.

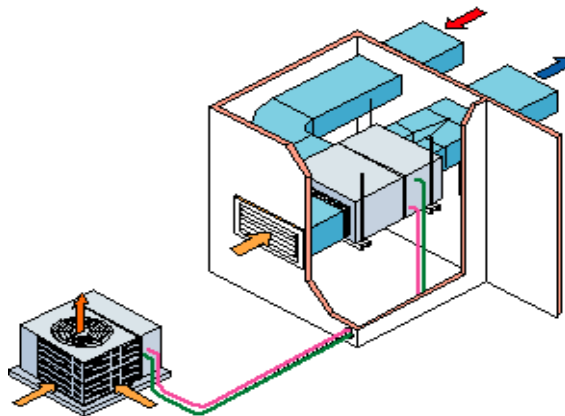
Figura 9. Equipo de aire acondicionado tipo suspendido techo o piso techo



JES servicios SRL [9]

- Equipos tipo Central: Los equipos de aire acondicionado tipo central, constan del evaporador en la unidad interior y normalmente llevan conductos, los demás elementos del ciclo se encuentran en la unidad exterior, casi siempre se ponen sobre techo falso.

Figura 10. Esquema de equipo de aire acondicionado tipo central



Monelca España [10]

Figura 11. Equipo de aire acondicionado tipo central



Aireacondicionadonet.com [11]

Los equipos más comerciales, vendidos más comúnmente para instalaciones grandes y pequeñas son los siguientes:

- Equipos tipo mini Split
- Equipos tipo Cassette
- Equipos tipo Suspendido techo o piso techo
- Equipos tipo Central

3.3 TECNOLOGÍAS DE AIRE ACONDICIONADO INVERTER OFERTADAS POR LA EMPRESA

Las tecnologías para acondicionamiento de aire que se ofertan en la empresa Aire Acondicionado y Ventilación SAS son dos, la tecnología convencional y la tecnología inverter, una explicación básica aprendida en la práctica es que el equipo convencional es el equipo que se compone del ciclo de refrigeración normal, con sus componentes electrónicos que permiten el control de su temperatura y componentes externos como sus aletas para direccionar el flujo de aire, ventilador de la unidad interior, entre otras. El equipo inverter no es más que el equipo

convencional con una modificación en el compresor, que es un variador de su velocidad, haciendo que este tipo de equipos mantenga la velocidad de su compresor regulada a un nivel mucho más bajo que en su arranque, así al enfriar un recinto no se consume tanta potencia y se genera un menor consumo.

- Equipo de aire acondicionado inverter

La tecnología inverter se diferencia de la convencional principalmente en que esta tiene la capacidad de adaptar la velocidad del compresor a la necesidad de acondicionamiento, por lo tanto, disminuye el consumo de energía, de esta manera reduce las oscilaciones de temperatura, consiguiendo mantener esta en un margen de + 1° C y -1° C y asegurar el confort y estabilidad del ambiente que se está acondicionando.

Lo anterior se logra gracias a un dispositivo electrónico de alimentación sensible a los cambios de temperatura, los equipos inverter varían las revoluciones del motor del compresor y proporcionan la potencia demandada. Así al momento de alcanzar la temperatura deseada, la potencia se disminuye para evitar picos de arranque del compresor como en un equipo convencional. De esta manera también se reduce el ruido.

El sistema inverter permite que el compresor trabaje un 30% por encima de su potencia para conseguir rápidamente la temperatura deseada cuando se requiera, y además funciona hasta un 15% por debajo de su potencia cuando se desee. Ambas situaciones reducen el ruido y consumo. [12]

3.4 EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO MÁS COMERCIALES

Según la experiencia que se tiene en la empresa, los equipos de aire acondicionado más comerciales son los equipos tipo Mini Split (residencias, hoteles, hospitales, oficinas, salas de juntas, etc), Cassette (bancos, salas de espera), Suspendido techo (antiguamente conocido como piso-techo) para almacenes de ropa, bancos, salas de juntas, auditorios, urgencias de hospitales, entre otros, y por último tenemos los equipos centrales, que son equipos que viene con conductos para la distribución del aire enfriado, estos se usan mayoritariamente en pasillos de hospitales, cabinas de grabación de radio, recintos grandes, pisos completos.

3.5 CRITERIOS BÁSICOS PARA LA SELECCIÓN DE EQUIPOS

Para el conocimiento de los criterios básicos en selección de equipos de aire acondicionado, que es el inicio para el diseño de las redes de aire para diferentes aplicaciones, primero es necesario conocer los equipos y la relación directa entre la capacidad de enfriamiento y las áreas a acondicionar, ya que en la práctica es la manera más sencilla de hacer la selección en lugares cerrados donde no se emite calor internamente, para los que lo tienen es necesario tener en cuenta factores de cargas térmicas las cuales se conocieron de manera básica, sin profundizar en ellos por su nivel de complejidad, en este proyecto se documenta la selección de equipos con base en las áreas a acondicionar y se mencionan pasos claves para cuando por alguna razón los equipos vayan a estar sometidos a alguna carga térmica pequeña.

En la empresa se utiliza una regla directa donde por cada 20 m² a acondicionar se requieren 400 cfm o 12000 btu/h.

Dependiendo de la aplicación se selecciona el tipo de equipo, ya que en mini Split y cassette por ejemplo se tiene en las mismas capacidades, para casos como estos los criterios de selección ya se basan en la estética del lugar y en que hay aplicaciones para las cuales la dirección del flujo debe tener cuatro sentidos o dos, o una en su defecto.

3.6 NORMAS QUE REGULAN EL EJERCICIO DEL AIRE ACONDICIONADO

Para el desarrollo de esta competencia se conocen los protocolos más importantes sobre la regulación de las sustancias usadas para el acondicionamiento de aire como lo son el protocolo de Montreal, el protocolo de Kyoto.

3.6.1 Protocolo de Montreal

El protocolo de Montreal es un acuerdo estricto de orden multilateral desarrollado con el objetivo de reducir y eliminar las sustancias agotadoras de la capa de ozono, conocidas como las SAO. Se encuentra vigente desde el primero de enero de 1989 y actualmente un poco más de 189 países se han comprometido a eliminar el consumo y producción de estas sustancias. Es aplicable a todas las sustancias que científicamente se relacionen con el agotamiento de la capa de ozono, con los ajustes y enmiendas que se han realizado, el protocolo controla el uso de 98 SAO. [13]

El protocolo está sujeto a modificaciones que reflejen los avances tecnológicos, descubrimientos y aspectos económicos relacionados con la problemática del agotamiento de la capa de ozono. Los ajustes del protocolo modifican el calendario de eliminación de las sustancias SAO y también pueden cambiar el PAO que es una medida del potencial de agotamiento de la capa de ozono de las sustancias, y adicionalmente pueden introducir medidas de control para nuevas SAO. [14]

3.6.2 Protocolo de Kyoto

Es un tratado con el principal objetivo de disminuir el cambio climático causado por actividades humanas a través del efecto invernadero.

El protocolo está enfocado al compromiso de reducción de seis gases presentes en la atmósfera, llamados gases de efecto invernadero. El protocolo está vigente desde el 16 de febrero de 2005 y ha sido ratificado por un poco más de 150 países hasta la fecha.

Para lograr la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero globales sobre niveles del año 1990, este tratado obliga a los países industrializados a disminuir el uso de energías fósiles, como el carbón, petróleo, gas y busca la disminución en el uso de refrigerantes como el CFC-12 y el HFC 134^a. [14]

3.6.3 El ejercicio del aire acondicionado en Colombia

Al igual que los demás países que participan del protocolo de Montreal, Colombia debe asumir responsabilidades en cuanto a la eliminación de los SAO, leyes que están cambiando el ejercicio del aire acondicionado en el país ya que las sustancias refrigerantes se deben cambiar y se están cambiando actualmente.

El protocolo de Montreal establece un cronograma diferente para cada país desarrollado y en vía de desarrollo para que estos asuman unas responsabilidades específicas en la eliminación de las SAO.[14]

Colombia participa en el protocolo de Montreal desde 1992 mediante la ley 29 del congreso nacional, en 1994, se presenta el programa país por parte del gobierno, la industria y la academia. Este último es un documento oficial de diagnóstico del

uso de las SAO en Colombia abarcando, fabricación, distribución del consumo, los sectores consumidores, entro otros datos. [14]

En el mismo año es creada la UTO (Unidad Técnica Ozono), una organización creada por ingenieros especializados en gestión de proyectos, que ha generado una serie de acciones que pretenden eliminar las SAO, y gracias a la gestión el uso de sustancias agotadoras de la capa de ozono se ha disminuido en unidades de miles. [14]

3.7 ANÁLISIS FINANCIERO PARA EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO

Para el análisis financiero de los equipos de aire acondicionado se llega a la conclusión que lo más adecuado es el uso de un análisis donde se pueda incluir la mayoría de sus costos durante el total de su vida útil, para lo anterior se usa el LCC (life cycle cost), que es el análisis que se realiza para traer al valor presente neto (VPN), todos los costos involucrados con los equipos de aire acondicionado.

3.8 VALOR PRESENTE NETO Y LCC

La aplicación del valor presente neto en este proyecto no tiene otro fin que el uso en el cálculo del costo del ciclo de vida de los equipos de aire acondicionado, por lo que su significado se puede resumir en que es una herramienta de análisis financiero que muestra el valor de los costos o flujos de efectivos a lo largo de un periodo al día de hoy, teniendo en cuenta tasas de interés, índices de precios e incrementos de los costos analizados.

- LCC

Costo del ciclo de vida o Life Cycle Cost (LCC), es una herramienta que, tratándose de equipos de aire acondicionado, nos ayuda a conocer el valor de un equipo hoy, contemplando sus gastos a futuro, como lo son el mantenimiento, reparaciones, consumo energético, entre otros y realizar comparaciones entre equipos que tengan diferencia en consumo, pero que sean iguales para que el análisis tenga una base con la cual mostrar un resultado real y convincente.

Es calculado mediante fórmulas que veremos más adelante en el capítulo 4 en el cual se desarrolla este análisis.

3.9 ANÁLISIS AMBIENTAL PARA LOS EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO

Para el análisis ambiental de los equipos de aire acondicionado, según la información compilada en la empresa, se tienen en cuenta las emisiones directas, indirectas y totales de CO₂ que los equipos de aire acondicionado generan, ya que dependiendo de estas emisiones se puede decir cuál de los equipos tiene un mayor y menor impacto ambiental y por lo tanto cuál es más amigable con el medio ambiente, para lo anterior se utiliza el TEWI que es un análisis que incluye los dos tipos de emisiones, y además de lo anterior se evidencia que la cantidad de emisiones están directamente relacionadas con el consumo de energía de los equipos, teniendo estas una relación directamente proporcional en los equipos.

3.9.1 Tewi (*Total Equivalent Warming Impact*)

El TEWI o efecto de calentamiento total equivalente es un índice de la contribución total de un aparato al calentamiento mundial medido por las emisiones totales de

gases de efecto invernadero que le son atribuidas durante su funcionamiento y la eliminación de los fluidos que contiene al final de su vida útil. El índice TEWI toma en cuenta tanto las emisiones fugitivas directas como las emisiones indirectas producidas por el consumo de energía del equipo durante su funcionamiento. Se expresa en unidades de masa de CO₂ equivalente. [15]

3.9.2 Emisiones directas.

Las emisiones directas son efectos de la liberación de sustancias al medio ambiente que poseen un potencial de calentamiento global por lo que se puede decir que son dependientes del PCG.

Cuadro 1. Emisiones directas

Emisiones directas	
Producción	<p>1) Identificación de todas las necesidades de materias primas y de las etapas de los procesos químicos necesarios para transformar la materia prima en sustancias intermediarias en el producto final.</p> <p>2) Contabilización de todas las emisiones que se producen en cada una de las etapas, mediante mediciones y/o modelización.</p>
Uso	<p>1) Mediciones para estimar las pérdidas de fluidos durante la vida útil de los equipos, con las emisiones directas que se generan.</p> <p>2) Las pérdidas ocurridas durante el transporte y la distribución se incluyen como emisiones directas derivadas del uso.</p>

Cuadro 1. (Continuación)

Puesta fuera de servicio	<p>1) Las emisiones se contabilizan sobre la base del destino final de los productos.</p> <p>2) Si no hay recuperación, se presume que todos los fluidos no recuperados producen emisiones directas.</p> <p>3) Si se recuperan, también se pueden producir emisiones durante el tratamiento ulterior de los fluidos.</p>
<p>Fuente: La Protección de la Capa de Ozono y el Sistema Climático Mundial: Cuestiones relativas a los hidrofluorocarbonos y a los perfluorocarbonos informe del IPCC [15]</p>	

3.9.3 Emisiones indirectas.

Las emisiones indirectas están relacionadas con el consumo energético de un equipo de aire acondicionado.

Cuadro 2. Emisiones indirectas

Emisiones indirectas	
Producción	<p>1) Modelización y/o medición de la energía incorporada en los equipos utilizados para obtener la materia prima, someterla a un tratamiento previo y luego transformarla en el producto final en las plantas.</p> <p>2) Modelización y/o medición del total de energía consumida para producir una unidad de un determinado fluido a partir de la materia prima.</p>

Cuadro 2. (Continuación)

Producción	3) Establecimiento de una relación entre el consumo de energía y la emisión de GEI sobre la base de datos específicos de una región y de un país.
Uso	<p>1) Evaluación del consumo de energía durante la vida útil de los equipos</p> <p>1.1) Aplicaciones de refrigeración, aire acondicionado o calefacción: Modelización y/o medición de la energía consumida.</p> <p>1.2) Espumas aislantes:</p> <p>1.2.1) Modelización de la compensación del espesor.</p> <p>1.2.2) Medición de la energía consumida por la aplicación utilizada como referencia y por la aplicación con espuma aislante.</p> <p>2) Establecimiento de una relación entre el consumo de energía y la emisión de GEI sobre la base de datos específicos de una región o país.</p>
Puesta fuera de servicio	<p>1) Consumo de energía necesario para reciclar o destruir un producto al término de su vida útil.</p> <p>2) Establecimiento de una relación entre el consumo de energía de la emisión de GEI sobre la base de datos específicos de una región o de un país.</p>
Fuente: La Protección de la Capa de Ozono y el Sistema Climático Mundial: Cuestiones relativas a los hidrofluorocarbonos y a los perfluorocarbonos informe del IPCC [15]	

4 CLASIFICACIÓN Y CONSUMO ENERGÉTICO DE LAS DIFERENTES TECNOLOGÍAS DE CLIMATIZACIÓN OFRECIDAS POR LA EMPRESA, DEPENDIENDO DE SU APLICACIÓN.

4.1 CONSUMO ENERGÉTICO DE LOS EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO DE TABLAS Y CATÁLOGOS ACTUALES

4.1.1 Convencionales

Equipos de funcionalidad normal, trabajan con el ciclo de refrigeración simple, sin variación de velocidad de compresor.

Cuadro 3. Consumo de los tipos de equipos de aire de aire acondicionado convencionales

EQUIPO / CAPACIDAD	CONSUMO [kW]	AMPERAJE [A]
Mini Split 9000	7	4,1
Mini Split 12000	1,18	5,2
Mini Split 18000	1,8	8,3
Mini Split 24000	2,34	11
Suspendido techo 36000	3,29	16
Suspendido techo 60000	5,85	27
Cassette 24000	2,5	11,4
Cassette 36000	3,55	16
Cassette 48000	5	24
Cassette 60000	6,25	27
Sistema Central 54000	6,45	30
Fuente: Catálogo de sistemas de acondicionamiento de aire LG electronics, Catálogo sistemas para hogares Panasonic, Catálogo sistemas de aire acondicionado Samsung. [16] [17] [18]		

4.1.2 Inverter

Cuadro 4. Consumo de los tipos de equipos de aire de aire acondicionado inverter

EQUIPO / CAPACIDAD	CONSUMO [kW]	AMPERAJE [A]
Mini Split 9000	0,77	3,5
Mini Split 12000	1,08	4,8
Mini Split 18000	1,62	7
Mini Split 24000	1,98	8,2
Suspendido techo 36000	3,3	14,3
Suspendido techo 60000	5,61	25,5
Cassette 24000	1.92	8.3
Cassette 36000	2,9	14,4
Cassette 54000	5,21	22,7
Sistema Central 54000	6,05	27,5
Fuente: Catálogo de sistemas de aire acondicionado LG electronics 2017 [19]		

4.2 PARÁMETROS MÁS IMPORTANTES DE UN EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO PARA LOS CLIENTES DE LA EMPRESA

Los parámetros más importantes de un equipo de aire acondicionado para los clientes de la empresa no son muchos, ya que ellos requieren confort para sus salas de reuniones, oficinas, entre otras locaciones en las cuales se instalan los equipos naturalmente y economía, los parámetros más importantes son los siguientes:

- El costo inicial del equipo.
- El nivel de ruido que las unidades producen
- El nivel de consumo energético completo del equipo.
- La apariencia y estética de la ubicación.
- El nivel de contaminación
- El peso.

5 ANÁLISIS FINANCIERO POR MEDIO DE CÁLCULOS PARA ESTIMAR EL VALOR PRESENTE DE LOS EQUIPOS INCLUYENDO LOS COSTOS A LO LARGO DE SU VIDA ÚTIL.

5.1 COSTOS DE LOS EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO

Los costos de un equipo de aire acondicionado son varios y se deben tener en cuenta a la hora de invertir en ellos, para el análisis de este proyecto se tomarán los que tienen mayor peso a lo largo de la vida útil, ya que es lo más práctico para las cotizaciones que se presentan diariamente en la empresa; a continuación, se verán los costos que se relacionan en el análisis.

5.1.1 costo de la inversión inicial

El costo de la inversión inicial de un equipo de aire acondicionado trae consigo diferentes costos y es la suma de estos mismos, los costos varían dependiendo del tipo de equipo que se esté ofertando, el lugar y dificultad de la instalación, la cantidad de material, costo de mano de obra, los costos involucrados son los siguientes:

- Mano de obra
- Materiales y tuberías de cobre
- Obras civiles
- Desagües

5.1.2 Mano de obra

La mano de obra naturalmente se subcontrata y varía de precio dependiendo del equipo que sea, del técnico de refrigeración a contratar, ya que algunos le ponen

precio a la instalación según el equipo y otros cobran por equipo más el metro lineal con un valor fijo.

El precio normal de una instalación de aire acondicionado oscila entre \$150.000 y \$250.000.

5.1.3 Materiales y tubería

La cantidad de material se refiere a soldadura y gas para soldar las tuberías de cobre, además de sus aislamientos o Rubatex (espuma aislante) y tornillería.

Las tuberías de cobre tienen gran peso en el costo de una instalación, ya que entre más grande sea el equipo, se debe usar un mayor diámetro de tuberías y en algunos casos, tubería de cobre rígida, que es la de mayor valor.

5.1.4 Obras civiles

Las obras civiles están referidas a cuando el cliente no quiere tener nada que ver con las roturas de paredes, pisos o techos por los cuales se desea pasar la tubería de refrigeración, posteriormente se deben hacer los resanes y en varias ocasiones el cliente lo deja a la empresa también.

5.1.5 Desagües

Todos los equipos de aire acondicionado llevan un desagüe debido a que el intercambiador de calor que se encarga de extraer el calor del aire que se ventila genera humedad (condensa) y por lo tanto gotea y llena una bandeja de los equipos naturalmente y el agua debe ser conducida a algún bajante de aguas lluvias o tubería que sea habilitada para el fin de evacuar dicha agua.

5.1.6 Costos de energía eléctrica

Los costos de energía eléctrica están referidos al consumo del equipo, que está relacionado con la potencia de entrada según su capacidad, la tecnología del equipo, el tiempo que tenga que trabajar, la aplicación y el lugar donde se instale, dependiendo de lo anterior se tiene mayor o menor consumo energético y por ende mayor o menos costo.

5.1.7 Costos de mantenimiento y reparaciones

Los costos de mantenimiento son costos que son constantes durante el año y naturalmente el mantenimiento se realiza cada dos meses, ya que los equipos adquieren suciedad en los intercambiadores de calor debido al flujo de aire externo, y empiezan a presentar bloqueo para flujo de aire, lo que genera congelamiento.

Por otro lado, las reparaciones varían de precio dependiendo de la gravedad de esta, pero lo que se hace más frecuente son los ajustes de carga, cambio de bandas, cambio de capacitores, entre otros, para el análisis de este proyecto se tomará lo más importante que son las recargas de refrigerante y cambios en parte eléctrica, estimando un precio mensual para estas.

5.1.8 Costo de retirada del equipo

El costo de retirada del equipo es el costo de la puesta fuera de servicio, sea el desmonte, de toda la instalación, el desarme de este y de sus tuberías.

El proceso anterior es generalmente realizado cuando se pide el reemplazo de equipos, ya que se dejan las tuberías para la reutilización después de un proceso de barrido y vacío, y el otro equipo es retirado y a veces almacenado en la bodega de la empresa.

5.2 EQUIPOS PARA LA REALIZACIÓN DEL ANÁLISIS

Para hacer una comparación efectiva de los equipos, se debe hacer un análisis para parejas de equipos iguales: misma capacidad, mismas condiciones de instalación, misma locación, entre otras, obviamente variando en su tecnología para mostrar qué ventajas tiene la tecnología actual respecto a la tecnología convencional, las tecnologías a analizar serán la convencional y la inverter, en los equipos con mayor demanda en la empresa, que son los mini Split.

5.3 CONDICIONES DE ANÁLISIS

Para el análisis se ha preguntado a varios clientes sobre los datos más importantes del equipo de aire, las cosas que se buscan para cumplir con la necesidad, los datos para el análisis son:

Tiempo que va a operar el equipo al día: 8 h

Días a la semana que descansará el equipo: ninguno

Lugar de la instalación: suponemos la instalación en Pereira.

Estrato de la vivienda (estrato 4 para el caso), si llegara a serlo, si es una empresa se tiene el valor fijo del kWh.

Con los datos anteriores podemos dejar establecidos los parámetros para el cálculo del consumo energético.

5.4 LCC (Life Cycle Cost)

El LCC es una herramienta que se utiliza para el análisis de costos, y complementa el estudio de inversiones para ver los costos futuros traídos al presente, por medio del valor presente o VPN.

El VPN será la suma de todos los gastos específicos de los equipos de aire multiplicados independientemente por el factor de valor presente FVP, calculado con la ecuación (1) que se muestra a continuación.

$$FVP(n, i, d) = \begin{cases} \left[\frac{1}{1-d} \right] \cdot \left[\left(\frac{1+i}{1+d} \right)^n - 1 \right], & \text{sí } i \neq d \\ \frac{n}{1+i}, & \text{sí } i = d \end{cases} \quad (1)$$

La fórmula para el cálculo del LLC para los equipos de aire acondicionado en cuestión se muestra a continuación. [20]

$$LCC = CII * \alpha + CII * (1 - \alpha) * crf(i, n) * FVP(i_e, d, n) + CE * FVP(i_e, d,) + CM * FVP(i_e, d, m) + CD \quad (2)$$

Donde:

LCC = Costo del Ciclo de Vida.

CII = Costos de Inversión iniciales y precio de compra.

CE = Costos de energía.

COM = Costos de mantenimiento (mantenimiento y reparaciones).

CD = Costo de retirada del equipo.

n = Tiempo de amortización de la inversión.

m = Tiempo de vida útil de los equipos.

α = Porcentaje que pagar de la cuota inicial.

i_e = Interés efectivo mensual.

d = Devaluación o Índice de precios.

$crf(i_e, n)$ = Cuota para n periodos. [21]

Para calcular el LCC pasaremos a asignar valores monetarios según la empresa a los equipos de aire acondicionado según su tecnología.

Para el LCC se tomarán los siguientes valores de incrementos e índices de precios:

i_e = Incrementos de la energía eléctrica anuales que se basó en un promedio realizado para estimar el aumento de los precios en los últimos 9 años según empresa de energía de Pereira.

Tabla 1. Tarifas anuales y los incrementos Empresa de energía de Pereira [22]

Año	Precio	Incremento [%]
2009	\$ 264,95	0
2010	\$ 280,84	5,9
2011	\$ 325,13	15,77
2012	\$ 325,29	0,049
2013	\$ 314,18	0
2014	\$ 320,28	1,942
2015	\$ 421,09	31,476
2016	\$ 446,16	5,945
2017	\$ 468,07	4,911
Fuente: Autor		

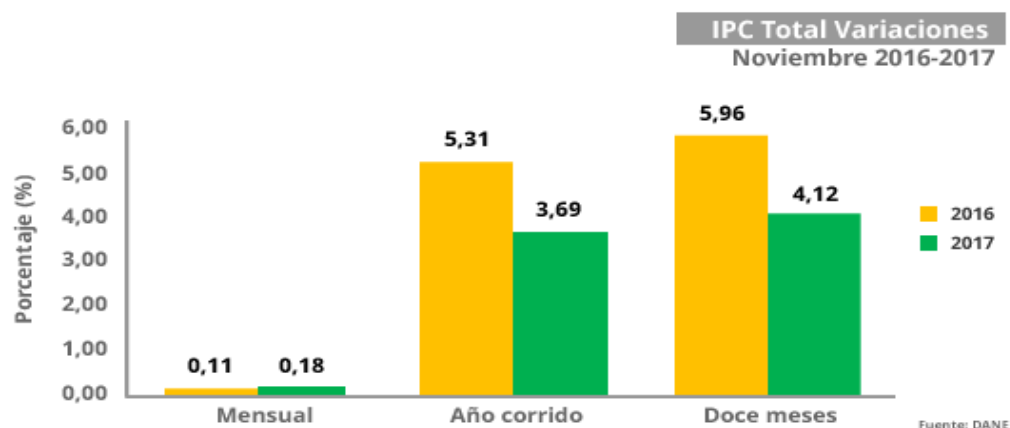
Promedio del incremento del costo del kWh anual = 9,443%

i_m = Incrementos de los costos de las reparaciones y el mantenimiento anuales 5% según la empresa.

D= índice de precios anual IPC para el presente año asumido según el reporte de la DIAN en el año 2017.

IPC general = 4,1%

Figura 12. Índice de precios al consumidor noviembre 2017



DANE información estratégica [23]

5.4.1 LCC equipo de aire acondicionado convencional

Los costos de inversión inicial se basan en un cuadro de presupuesto real que se usa para las cotizaciones reales de la empresa en el cual se suponen las mismas condiciones de instalación para ambas tecnologías.

5.4.1.1 *Inversión inicial equipo convencional*

Tabla 2. Inversión inicial equipo de aire acondicionado convencional

Concepto	Valor
Precio de venta	\$ 690.000
Mano de obra	\$ 150.000
Materiales	\$ 144.000
Tuberías	\$ 200.000
Desagües y obras civiles	\$ 100.000
Fuente: Autor	

COSTO TOTAL INVERSIÓN INICIAL.....\$ 1'284.000

5.4.1.2 Costo del consumo energético equipo convencional

Teniendo en cuenta la operación de un equipo convencional y sus periodos de descanso, podemos decir que durante el tiempo considerado el equipo descansa un 20% en el tiempo de operación, entonces se puede tomar su consumo multiplicado por el 80% para tener más exactitud sobre un porcentaje de operación real.

Para el precio del kWh en la zona de Pereira tomaremos el precio actual para un estrato 4, ya que es donde más se presentan las instalaciones ofertadas por la empresa y en donde se maneja una tarifa para todo consumo.

De tablas y catálogos y datos del usuario conocemos que:

Tabla 3. Datos consultados con clientes equipo convencional

Dato consultado	Valor numérico
Consumo	0,88 Kw
Tiempo a trabajar	8h/día
Sin descanso	
Precio del kWh	\$468,07
Fuente: Autor	

$$\text{Consumo mensual} = \left[0,88 \text{ kW} \times \frac{8 \text{ h}}{\text{día}} \times \frac{365 \text{ día}}{\text{año}} \times \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ mes}} \right] \times 0.8$$

$$\text{Consumo mensual} = 171,307 \text{ kWh/mes}$$

$$\text{Consumo anual} = \left[0,88 \text{ kW} \times \frac{8 \text{ h}}{\text{día}} \times \frac{365 \text{ día}}{\text{año}} \right] \times 0.8$$

$$\text{Consumo anual} = 2.055,68 \text{ kWh}$$

$$\text{Consumo durante la vida útil} = 0,88 \text{ kW} \times \frac{8 \text{ h}}{\text{día}} \times \frac{365 \text{ día}}{\text{año}} \times 0,8 \times 10 \text{ años}$$

$$\text{Consumo durante la vida útil} = 2.0556,8 \text{ kWh}$$

$$\text{Costo del consumo mensual} = 171,307 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}} * \$ 468,07/\text{kWh}$$

$$CE = \text{Costo del consumo mensual} = \$ 80.183,511 / \text{mes}$$

5.4.1.3 Costos de mantenimiento y reparaciones equipo convencional

Tabla 4. Costos de mantenimiento y reparaciones equipo convencional

Concepto	Valor
Mantenimiento bimestral año 2017	\$ 90.000
Mantenimiento mensual 2017	\$ 45.000
Ajustes de carga y demás reparaciones anual	\$ 200.000
Ajustes de carga y demás reparaciones mensual	\$ 16.666,6
Fuente: Autor	

Nota: Este costo es igual para los dos equipos.

El costo de mantenimiento y reparaciones se estima de la siguiente manera: 200.000 anuales (61.666,666 mensuales).

COSTO TOTAL REPARACIONES Y MANTENIMIENTO.....\$ 61.666,67

Nota: El costo es el mismo para los dos tipos de equipos, ya que las reparaciones consideradas se realizan a los equipos de ambas tecnologías.

5.4.1.4 Costo de puesta a disposición equipo convencional

PUESTA A DISPOSICIÓN.....\$ 50.000

5.4.2 Cálculo de los factores de valor presente

Procedimiento de conversión a tasa mensual del índice de precios que se usa para los cálculos posteriores.

$$d = (1 + IPC_{anual})^{\frac{1}{n}} - 1$$

$$i_m = (1 + 0,041)^{\frac{1}{12}} - 1$$

$$i_m = 0,00335$$

Promedio del incremento del costo del kWh anual = 9,443%

Pasado a interés mensual:

$$i_e = (1 + i_{anual})^{\frac{1}{n}} - 1$$

$$i_e = (1 + 0.09443)^{\frac{1}{12}} - 1$$

$$i_e = 0,00755$$

5.4.2.1 Factor de valor presente para traer a valor presente el flujo de caja del consumo energético

$$FVP(i_e, m, d) = \frac{1}{i_e - d} \times \left[\left(\frac{1 + i_e}{1 + d} \right)^m - 1 \right]$$

$$FVP(i_e, m, d) = \frac{1}{0,00755 - 0,00335} \times \left[\left(\frac{1 + 0,00755}{1 + 0,00335} \right)^{120} - 1 \right]$$

$$FVP(i_e, m, d) = 154,8928$$

NOTA: Este factor es el mismo para el cálculo en los dos casos, ya que no varía dependiendo del tipo de sistema y es aplicable a los dos.

i_m = incrementos de los costos de las reparaciones y el mantenimiento anuales según la empresa. 5% anual estipulado por la empresa:

Pasado a interés mensual:

$$i_m = (1 + i_{anual})^{\frac{1}{n}} - 1$$

$$i_m = (1 + 0,05)^{\frac{1}{12}} - 1$$

$$i_m = 0,00407$$

5.4.2.2 Factor de valor presente para traer a valor presente el flujo de caja del mantenimiento y reparaciones

$$FVP(i_m, m, d) = \frac{1}{i_m - d} \times \left[\left(\frac{1 + i_m}{1 + d} \right)^m - 1 \right]$$

$$FVP(i_m, m, d) = \frac{1}{0,0041 - 0,0034} \times \left[\left(\frac{1 + 0,0041}{1 + 0,0034} \right)^{120} - 1 \right]$$

$$FVP(i_m, m, d) = 124,8528$$

NOTA: Este factor es el mismo para el cálculo en los dos casos, ya que no varía dependiendo del tipo de sistema y es aplicable a los dos.

Para nuestro caso, la formula (2) no opera con todos sus valores, ya que toda instalación se paga de contado, por lo tanto, se maneja sin cuotas y sin interés, la formula toma la siguiente forma:

$$LCC = CII * \alpha + CE * FVP(i_e, d,) + CM * FVP(i_e, d, m) + CD \quad (3)$$

CII = Costos de Inversión iniciales y precio de compra.

CE = Costos de energía.

CM = Costos de mantenimiento (mantenimiento y reparaciones)

CD = Costo de retirada del equipo.

m = Tiempo de vida útil de los equipos.

α = Porcentaje que pagar de la inversión inicial (100%).

i_e = Incremento efectivo mensual.

d = Índice de precios para el 2017.

$$LCC_{conv} = \$ 1'284.000 * (1) + (\$ 80.183,511 /mes) * (154,8928) + (\$ 61.666,67 /mes) * (124,8528) + \$ 50.000$$

$$LCC_{conv} = \$ 21'453.017,0794$$

5.4.3 LCC equipo de aire acondicionado inverter.

Los costos de la inversión inicial de los equipos solo difieren en el precio del equipo como se muestra a continuación:

5.4.3.1 *Inversión inicial equipo inverter*

Tabla 5. Inversión inicial equipo de aire acondicionado inverter

Concepto	Valor
Precio de venta	\$ 1'158.000
Mano de obra	\$ 150.000
Materiales	\$ 144.000
Tuberías	\$ 200.000
Desagües y obras civiles	\$ 100.000
Fuente: Autor	

COSTO TOTAL INVERSIÓN INICIAL.....\$ 1'752.000

5.4.3.2 *Costo del consumo energético equipo inverter*

Teniendo en cuenta que la tecnología inverter fue desarrollada precisamente para el ahorro en consumo energético y los catálogos avalan un 70% de ahorro con pruebas, de manera prudente se tomará un 60% de ahorro, haciendo efectivo para la ecuación de consumo un 0,4, referente al 40% de operación del equipo.

Para el precio del kWh en la zona de Pereira tomaremos el precio actual para un estrato 4, ya que es donde más se presentan las instalaciones ofertadas por la empresa.

De tablas, catálogos y datos del usuario conocemos que:

Tabla 6. Datos consultados con clientes para el equipo inverter [19]

Dato consultado	Valor numérico
Consumo	0,77 Kw
Tiempo a trabajar	8h/día
Sin descanso	
Precio del kWh	\$468,07
Fuente: Autor	

$$\text{Consumo mensual} = \left[0,77 \text{ kW} \times \frac{8 \text{ h}}{\text{día}} \times \frac{365 \text{ día}}{\text{año}} \times \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ mes}} \right] \times 0,4$$

$$\text{Consumo mensual} = 74,947 \text{ kWh/mes}$$

$$\text{Consumo anual} = \left[0,77 \text{ kW} \times \frac{8 \text{ h}}{\text{día}} \times \frac{365 \text{ día}}{\text{año}} \right] \times 0,4$$

$$\text{Consumo anual} = 899,36 \text{ kWh}$$

$$\text{Consumo durante la vida útil} = 0,77 \text{ kW} \times \frac{8 \text{ h}}{\text{día}} \times \frac{365 \text{ día}}{\text{año}} \times 0,4 \times 10 \text{ años}$$

$$\text{Consumo durante la vida útil} = 8.993,6 \text{ kWh}$$

Costo del consumo mensual

$$\text{Costo del consumo mensual} = 74,947 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}} * \$ 468,07/\text{kWh}$$

$$\text{CE} = \text{Costo del consumo mensual} = \$ 35.080,286 / \text{mes}$$

5.4.3.3 Costos de mantenimiento y reparaciones equipo inverter

COSTO TOTAL REPARACIONES Y MANTENIMIENTO.....\$ 61.666,67

Nota: El costo anterior es calculado anteriormente con la tabla 4.

5.4.3.4 Costo de puesta a disposición equipo inverter

PUESTA A DISPOSICIÓN.....\$ 50.000

$$LCC_{Inv} = \$ 1'752.000 * (1) + (\$ 35.080,286 /mes) * (154,8928 + (\$ 61.666,67 /mes) * (124,8528) + \$ 50.000$$

$$LCC_{Inv} = \$ 14'934.853,500$$

6 ANÁLISIS CUANTITATIVO DE IMPACTO AMBIENTAL, EMISIONES DIRECTAS E INDIRECTAS DE LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS DE CLIMATIZACIÓN.

6.1 EMISIONES DE UN EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO

Las emisiones de CO₂ que un equipo de aire acondicionado desprende al ambiente están relacionadas con las fugas de su refrigerante y su consumo energético, entre otros valores mínimos que no se tienen en cuenta para el análisis ya que se busca algo práctico y no muy complejo que muestre que equipo tiene un menor impacto ambiental.

6.2 TEWI (TOTAL EQUIVALENT WARMING IMPACT)

Tal como ya se mencionó en capítulos anteriores el TEWI es una medida del impacto ambiental medido en toneladas de CO₂, y su fórmula es:

$$TEWI = \sum(a_i * b_i + a_i * c_i) + e \quad (4)$$

Donde:

TEWI= Total Equivalent Warning Impact, kg de CO₂ de equivalente.

a_i = PCG del gas i emitido.

b_i = Masa del gas i liberado durante la vida útil de funcionamiento del sistema. (kg)

c_i = Masa del gas i que se libera cuando el sistema es puesto fuera de servicio al término de su vida útil. (kg)

e = Emisión de CO₂ resultante de la energía utilizada para hacer funcionar el sistema (durante toda su vida útil). (kg de CO₂)

Elementos tomados de la tesis de la ingeniera Omarly Acevedo. [24]

6.3 CÁLCULO DE LAS EMISIONES

Como ya se mostró anteriormente, el TEWI no es más que la suma de las emisiones indirectas y las directas.

Actualmente y por las medidas por la migración a las sustancias refrigerantes que no afectan la capa de ozono, los equipos vendidos utilizan refrigerante R-410 A, el cual cuenta con un PCG (Potencial de calentamiento global) de 1700. La carga refrigerante que se utiliza para un equipo es de 1.2 kg, debido a que en la empresa se usa una regla simple de que para cada una tonelada de refrigeración (12.000 BTU/h) se debe cargar un equipo con 1.6 kg, se procede así:

$$9.000 \text{ BTU/h} \rightarrow 0.75 \text{ TR}$$

$$1.6 \rightarrow 1 \text{ TR}$$

$$\text{Refrigerante en kg para } 0.75 \text{ TR} \rightarrow 0.75 \text{ TR}$$

$$\text{Refrigerante en kg para } 0.75 \text{ TR} = \frac{1.6 \text{ kg} \times 0.75 \text{ TR}}{1 \text{ TR}} = 1.2 \text{ kg}$$

Para los valores de emisiones durante la vida útil y al final de la misma, se usa la tabla de emisiones de la figura 13, en la cual se registran unos rangos de emisiones que se deben considerar para las emisiones directas según la aplicación y el equipo, para el caso *Residential and commercial A/C, including Heat Pumps*.

Figura 13. Factores de emisiones para sistemas refrigeración y aire acondicionado

TABLE 7.9 ESTIMATES ¹ FOR CHARGE, LIFETIME AND EMISSION FACTORS FOR REFRIGERATION AND AIR-CONDITIONING SYSTEMS						
Sub-application	Charge (kg)	Lifetimes (years) ²	Emission Factors (% of initial charge/year) ³		End-of-Life Emission (%)	
Factor in Equation	(M)	(d)	(k)	(x)	($\eta_{rec,d}$)	(p)
			Initial Emission	Operation Emission	Recovery Efficiency ⁴	Initial Charge Remaining
Domestic Refrigeration	$0.05 \leq M \leq 0.5$	$12 \leq d \leq 20$	$0.2 \leq k \leq 1$	$0.1 \leq x \leq 0.5$	$0 < \eta_{rec,d} < 70$	$0 < p < 80$
Stand-alone Commercial Applications	$0.2 \leq M \leq 6$	$10 \leq d \leq 15$	$0.5 \leq k \leq 3$	$1 \leq x \leq 15$	$0 < \eta_{rec,d} < 70$	$0 < p < 80$
Medium & Large Commercial Refrigeration	$50 \leq M \leq 2000$	$7 \leq d \leq 15$	$0.5 \leq k \leq 3$	$10 \leq x \leq 35$	$0 < \eta_{rec,d} < 70$	$50 < p < 100$
Transport Refrigeration	$3 \leq M \leq 8$	$6 \leq d \leq 9$	$0.2 \leq k \leq 1$	$15 \leq x \leq 50$	$0 < \eta_{rec,d} < 70$	$0 < p < 50$
Industrial Refrigeration including Food Processing and Cold Storage	$10 \leq M \leq 10,000$	$15 \leq d \leq 30$	$0.5 \leq k \leq 3$	$7 \leq x \leq 25$	$0 < \eta_{rec,d} < 90$	$50 < p < 100$
Chillers	$10 \leq M \leq 2000$	$15 \leq d \leq 30$	$0.2 \leq k \leq 1$	$2 \leq x \leq 15$	$0 < \eta_{rec,d} < 95$	$80 < p < 100$
Residential and Commercial A/C, including Heat Pumps	$0.5 \leq M \leq 100$	$10 \leq d \leq 20$	$0.2 \leq k \leq 1$	$1 \leq x \leq 10$	$0 < \eta_{rec,d} < 80$	$0 < p < 80$
Mobile A/C	$0.5 \leq M \leq 1.5$	$9 \leq d \leq 16$	$0.2 \leq k \leq 0.5$	$10 \leq x \leq 20^5$	$0 < \eta_{rec,d} < 50$	$0 < p < 50$
¹ Based on information contained in UNEP RTOC Reports (UNEP-RTOC, 1999; UNEP-RTOC, 2003)						
^{2,3} Lower value for developed countries and higher value for developing countries						
⁴ The lower threshold (0%) highlights that there is no recovery in some countries.						
⁵ Schwarz and Harnisch (2003) estimates leakage rates of 5.3% to 10.6%; these rates apply only to second generation mobile air conditioners installed in European models in 1996 and beyond.						

Fuente: La Protección de la Capa de Ozono y el Sistema Climático Mundial: Cuestiones relativas a los hidrofluorocarbonos y a los perfluorocarbonos informe del IPCC [15]

Así y con las consideraciones realizadas por el IPCC se eligen los valores de emisiones, los cuales corresponden a la penúltima casilla (*Residential and commercial A/C*).

Para las emisiones durante la operación normal del equipo se elige un 2% por año, por tomas de presiones, que es la manera más frecuente en que los equipos pierden

su carga refrigerante, pero nunca pierden gran cantidad, por los diez años de vida útil se habla de un 20% de su carga nominal.

Al final de su vida útil se elige el 80% de su carga, ya que es el momento donde se realizan los procedimientos para una recuperación de refrigerante.

Para las emisiones indirectas y según la empresa de energía local, que es un hidroeléctrica, se toma un valor de 0,19 kg CO₂ / kWh consumido, de acuerdo a un promedio estimativo desde el año 2015 hasta la fecha.

Tabla 7. Factores de emisión de las centrales hidroeléctricas según la UPME [25]

Año	Valor de emisión
2015	0,19
2016	0,21
2017	0,19
Fuente: Autor	

6.3.1 Emisiones directas equipo convencional

Las emisiones indirectas según los factores de la figura 13 y con la fórmula del TEWI se calculan de la siguiente manera:

$$ED = \frac{PCG * (MLTV [kg] + MLFV[kg])}{1000}$$

Siendo:

MLTV: Masa total liberada de refrigerante durante toda la vida útil

MLFV: Masa total liberada de refrigerante durante el final de la vida útil

La masa total de refrigerante es 1,2 kg, se calcula la masa liberada durante la vida útil y al final de esta, de esta manera:

$$\text{Masa liberada durante la vida útil} = 1,2 \text{ kg} * 0,2$$

$$\text{Masa liberada durante la vida útil} = 0,24 \text{ kg}$$

$$\text{Masa liberada al final de la vida útil} = 1,2 \text{ kg} * 0,8$$

$$\text{Masa liberada al final de la vida útil} = 0,96 \text{ kg}$$

$$ED = \frac{1700 (0,24 \text{ kg} + 0,96 \text{ kg})}{1000}$$

$$ED = 2,04 \text{ ton de } CO_2$$

Nota: Para los dos equipos este valor es el mismo ya que nada cambia respecto a su refrigerante y carga aun siendo diferente tecnología.

6.3.2 Emisiones indirectas equipo convencional

Las emisiones indirectas relacionadas con el aire acondicionado son calculadas de acuerdo con su consumo energético como ya se mencionó, este ya se conoce para cada alternativa, se hacen los cálculos así:

Consumo energético equipo convencional a lo largo de su vida útil = 20.556,8 kWh

Factor de emisiones = 0,19 kg CO₂ / kWh consumido

$$EI = \frac{20.556,8 \text{ kWh} * 0,19 \text{ kg } CO_2 / kWh}{1000}$$

$$EI = 5,457 \text{ ton de } CO_2$$

6.4 CÁLCULO DEL TEWI Y RESULTADOS EQUIPO CONVENCIONAL

$$TEWI_{conven} = ED + EI$$

$$TEWI = 2,04 \text{ ton de } CO_2 + 3,417 \text{ ton de } CO_2$$

$$TEWI = 5,945 \text{ ton de } CO_2$$

6.4.1 Emisiones directas equipo inverter

$$ED = 2,04 \text{ ton de } CO_2$$

6.4.2 Emisiones indirectas equipo inverter

Las emisiones indirectas relacionadas con el aire acondicionado son calculadas de acuerdo con su consumo energético como ya se mencionó, este ya se conoce para cada alternativa, se hacen los cálculos así:

Consumo energético equipo convencional a lo largo de su vida útil = 8.993,6 kWh

Factor de emisiones = 0,19 kg CO₂ / kWh consumido

$$EI = 8.993,6 \text{ kWh} * 0,19 \text{ kg } CO_2/\text{kWh}$$

$$EI = \frac{1.708,784 \text{ kg } CO_2}{1000}$$

$$EI = 1,708 \text{ ton de } C$$

6.5 Cálculo del tewi y resultados equipo inverter

$$TEWI_{inverter} = ED + EI$$

$$TEWI_{inverter} = 2,04 \text{ ton de } CO_2 + 1,708 \text{ ton de } CO_2$$

$$TEWI_{inverter} = 3,748 \text{ ton de } CO_2$$

7 COMPARACIÓN DE ANÁLISIS AMBIENTAL Y ECONÓMICO PARA LAS TECNOLOGÍAS DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE Y MODELO CON RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS PARA INCLUIR EN COTIZACIONES.

7.1 COMPARACIÓN DE COSTOS DEL CICLO DE VIDA DE LOS EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO

La comparación de los costos como se menciona en apartados anteriores se realiza con base en que los equipos instalados bajo las mismas condiciones, con las mismas capacidades de enfriamiento y su única diferencia es el tipo de tecnología que maneja su compresor (convencional o inverter).

Cuadro 5. Valores del costo de ciclo de vida de los equipos según su tecnología en moneda colombiana

LCC EQUIPO CONVENCIONAL	LCC EQUIPO INVERTER
\$ 21.452.336,539	\$ 14.934.555,764
Fuente: Autor	

Resultados ICC

Diferencia del LCC entre los dos equipos comparados = **\$ 6.517.780,776**

El equipo convencional genera un **43.643%** más de gastos que el equipo inverter.

7.2 COMPARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DURANTE EL CICLO DE VIDA DE LOS EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO.

Para el análisis ambiental se utiliza el mismo tipo de refrigerante en los equipos (R410), con el mismo PCG (potencial de calentamiento global).

Cuadro 6. Valores de emisiones TEWI de los equipos según su tecnología en toneladas de CO₂

TEWI EQUIPO CONVENCIONAL	TEWI EQUIPO INVERTER
5, 945 ton CO ₂	3,748 ton CO ₂
Fuente: Autor	

Resultados tewi

Diferencia del TEWI entre los dos equipos comparados = 2,197 ton de CO₂

El equipo convencional genera un **58,605%** más de emisiones al medio ambiente.

7.3 ORGANIZACIÓN DE LAS COMPARACIONES DE LOS ANÁLISIS

7.3.1 Análisis financiero

Para la organización del análisis financiero se hacen cuadros en Excel, en los cuales se encuentran los resultados arrojados por las fórmulas consignadas después de ingresar la información requerida, teniendo así un formato en el cual con los datos requeridos se puede hacer el análisis de una forma sencilla.

Cuadro 7. Datos completos para el análisis del costo ciclo de vida del equipo de aire acondicionado convencional e inverter

Datos para el análisis			
Incrementos			
índice de precios anual IPC general para el año actual [%]	4,1		
tasa efectiva mensual IPC	0,00335		
Incrementos de energía anuales según promedio [%]	9,443		
tasa efectiva mensual Incremento de energía	0,00755		
Incrementos en el mantenimiento anual [%]	5		
tasa efectiva mensual incremento de mantenimiento y reparaciones	0,00407		
COSTOS			
	CONVENCIONAL		INVERTER
Costo de la inversión inicial	Concepto	Costo en pesos	Costo en pesos
	Instalación	\$ 150.000	\$ 150.000
	Materiales y tubería	\$ 344.000	\$ 344.000

Cuadro 7. (Continuación)

	Obras civiles	\$ 100.000	\$ 100.000
	Costo del equipo	\$ 690.000,00	\$ 1.158.000,00
Total costo de inversión inicial	\$ 1.284.000		\$ 1.752.000
Costo del consumo de energía eléctrica	Consumo nominal del equipo [kWh]	0,88	0,77
	Horas que trabajará al día	8	8
	días a la seman	7	7
	Años de vida útil	10	10
	costo de kWh estrato 4	\$ 468,07	\$ 468,07
	Incremento en el costo de energía eléctrica anual	9,443%	9,443%
	Porcentaje de operación	0,8	0,4
	Consumo mensual [kWh]	171,297	74,943
	Consumo total del equipo durante la vida útil [kWh]	20555,673	8993,107
	Costo por mes kWh	\$ 80.179,12	\$ 35.078,36
	Costo del consumo primer año	\$ 962.149,41	\$ 420.940,37

Cuadro 7. (Continuación)

	Factor de VPN	154,892	154,892
Total costo de consumo energético inicial	\$ 12.419.165,82		\$ 5.433.385,05
Costo de reparaciones y mantenimiento	Costo de mantenimiento mensual	\$ 45.000	\$ 45.000
	Costo de reparaciones mensual	\$ 16.666,00	\$ 16.666,00
	Costo total mantenimiento y reparaciones	\$ 61.666,00	\$ 61.666,00
	Incremento anual de las reparaciones y mantenimiento [%]	5%	5%
	Factor de VPN	124,852	124,852
Total costo de reparaciones y mantenimiento	\$ 7.699.170,716		\$ 7.699.170,716
Costo de puesta a disposición del equipo	\$ 50.000,00		\$ 50.000,00
LCC	\$ 21.452.336,539		\$ 14.934.555,764
DIFERENCIA LCC	\$ 6.517.781		
Fuente: Autor			

7.3.2 Análisis ambiental

Para la organización del análisis ambiental se hacen cuadros en Excel igual que para el análisis anterior, en los cuales se encuentran los resultados arrojados por las fórmulas consignadas después de ingresar la información requerida, teniendo así un formato en el cual con los datos requeridos se puede hacer el análisis de una forma práctica.

Cuadro 8. Datos generales del factor de emisiones y porcentajes de emisión de CO₂ para el análisis de los equipos

Factor de emisiones centrales hidroeléctricas de Pereira para el año actual	0,19
Refrigerante liberado durante toda la vida útil en porcentaje anual	2%
Refrigerante liberado durante toda la vida útil en porcentaje durante toda su vida útil	20%
Refrigerante liberado por el equipo al final de su vida útil	80%
Fuente: Autor	

Cuadro 9. Datos generales para el análisis ambiental de los equipos

Convencional e inverter			
Refrigerante	PCG	Carga refrigerante [kg]	Vida útil del equipo en años
R-410	1700	1,2	10
Fuente: Autor			

Nota: El cuadro anterior contiene los datos generales del refrigerante y la vida útil del equipo, y es igual para los dos equipos a considerar por consiguiente solo se cita el cuadro 8.

Cuadro 10. Datos consignados en los cuadros de Excel y resultados de las emisiones de CO₂ en toneladas para el equipo convencional

Convencional					
Refrigerante liberado durante toda la vida útil	Refrigerante liberado por el equipo al final de su vida útil	Emisiones directas (ton de CO ₂)	Consumo energético durante la vida útil [kWh]	Emisiones indirectas (ton de CO ₂)	TEWI (ton de CO ₂)
0,24	0,96	2,04	20556,8	3,905	5,945
Las emisiones en ton de CO ₂ para un equipo Tipo mini Split de 9.000 BTU/h convencional son de		5,945			
Fuente: Autor					

Cuadro 11. Datos consignados en los cuadros de Excel y resultados de las emisiones de CO₂ en toneladas para el equipo inverter

Inverter					
Refrigerante liberado durante toda la vida útil	Refrigerante liberado por el equipo al final de su vida útil	Emisiones directas (ton de CO ₂)	Consumo energético durante la vida útil [kWh]	Emisiones indirectas (ton de CO ₂)	TEWI (ton de CO ₂)
0,24	0,96	2,04	8993,6	1,708	3,748
Las emisiones en ton de CO ₂ para un equipo Tipo mini Split de 9.000 BTU/h inverter son de		3,748			
Fuente: Autor					

7.4 BASE DE DATOS

La base de datos que se realiza en este proyecto es un compendio de información de características y precios de los equipos más comerciales en la empresa para que se haga fácil llevar a cabo los análisis. Todo lo anterior consignado en un archivo de Excel, en varios cuadros realizados para el fin de acceder de forma sencilla para la obtención de resultados e inclusión en cotizaciones. Toda la base de datos se muestra en el Anexo A.

7.5 FORMATO PARA AGREGAR A LAS COTIZACIONES Y SU ACTUALIZACIÓN

Al formato de cotización de la empresa que se muestra en el apartado de anexos (Anexo B), y para efectos del desarrollo de la metodología en referencia se le agrega un numeral que contiene el análisis ambiental y financiero, además del análisis de recuperación de la inversión, que es una forma de retroalimentación de lo aprendido, ya que es una base de datos creada a partir de lo analizado y que es útil comercialmente.

7.6 COTIZACIÓN REAL

El caso de la cotización real se realiza a finales del mes de diciembre de 2017, para la gobernación de Pereira, cliente que requería cuatro equipos tipo suspendido techo de aire acondicionado, para su sala de asambleas, y nos solicitaron las dos tecnologías, correspondiendo con la solicitud y para implementar el análisis de manera real y ver sus resultados, se hizo este, para los equipos convencionales e inverter.

El análisis se presenta en el Anexo C de este documento.

8 CONCLUSIONES

- A través de las capacitaciones recibidas y el ejercicio práctico en la empresa Aire acondicionado y ventilación se aprendieron conceptos básicos y normas de aplicación práctica para ejercer la ejecución completa de proyectos de aire acondicionado.
- Por medio de investigación y estudio de catálogos se reconocieron muchos de los datos característicos y de operación de los diferentes equipos de aire acondicionado ofertados por la empresa Aire Acondicionado y Ventilación SAS.
- Se realizó un análisis financiero para estimar los costos futuros de dos equipos de aire acondicionado en condiciones de instalación iguales, pero con diferente tecnología, mostrando satisfactoriamente que el equipo que es más costoso al principio genera un ahorro estimativo de alrededor del 50% y que al adquirir este la inversión es recuperada en los primeros años.
- Se realizó un análisis ambiental para dos equipos de aire acondicionado en condiciones de instalación iguales, pero con diferente tecnología, mostrando como se esperaba que el equipo de aire acondicionado convencional genera alrededor de un 50% más de emisiones al medio ambiente, por lo que este tiene un impacto ambiental mayor.
- Se nota que la causa directa de la reducción de los costos e impacto ambiental en un equipo inverter es la reducción en su consumo energético.
- Se creó una base de datos en el software Excel con todos los cuadros de datos relacionados con los análisis ambiental y financiero, para que sea de utilidad

práctica, y se puedan realizar los análisis de forma sencilla, cuando se desee y sus resultados puedan ser incluidos en las cotizaciones de la empresa.

- Se realizó la modificación a las cotizaciones de la empresa con la inclusión de los análisis ambiental y financiero, con el fin de generar más confianza y mostrar al cliente que una inversión mayor le puede generar un ahorro constante a lo largo de la vida útil de un equipo de aire acondicionado.
- Adicional y como parte del análisis financiero se desarrolló un análisis de recuperación de inversión para decirle al cliente en cuantos años recupera su inversión cuando este decide comprar el equipo más costoso.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A.-C. A. R. Institute, *REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO*, Primera Ed. 1979.
- [2] R. C. grados Celsius, "Ciclo básico de la refrigeración," *Diciembre 23*, 2014. [Online]. Available: <https://www.0grados.com/ciclo-basico-de-la-refrigeracion/>. [Accessed: 02-Jan-2018].
- [3] Miguel Angel Gonzalez, "CONCEPTOS BASICOS DE CLIMATIZACIÓN y TIPOS DE AIRE ACONDICIONADO.," *Mayo 17*, 2015. [Online]. Available: <http://tiposdeaireacondicionado.blogspot.com.co/2015/05/conceptos-basicos-de-climatizacion-y.html>. [Accessed: 02-Jan-2018].
- [4] A. A. A. Shop, "Aire Acondicionado | Paquete," 2017. [Online]. Available: <https://www.aireacondicionado.com.co/portal/aire-acondicionado-paquete.html>. [Accessed: 02-Jan-2018].
- [5] C. Nergiza, "Aire acondicionado de ventana, ¿es una buena alternativa? |Nergiza," *Julio 5*, 2016. [Online]. Available: <https://nergiza.com/aire-acondicionado-de-ventana-es-una-buena-alternativa/>. [Accessed: 02-Jan-2018].
- [6] Aireacondicionadonet.com, "Aire Acondicionado De Ventana," 2012. [Online]. Available: <http://www.aireacondicionadonet.com/aire-acondicionado-de-ventana/>. [Accessed: 02-Jan-2018].
- [7] quecalor.com Mexico, "Aire Acondicionado Minisplit, Guía de selección," 2017. [Online]. Available: <http://www.quecalor.com/aire-acondicionado-minisplit.php>. [Accessed: 02-Jan-2018].
- [8] LG electronics, "Aire Acondicionado Cassette: Climatiza de forma estética | LG Colombia," 2017. [Online]. Available: <http://www.lg.com/co/aire-acondicionado-comercial/lg-ATNQ24GNLE3>. [Accessed: 02-Jan-2018].

- [9] JES servicios S.R.L., "Sistemas | Tipos Aire Acondicionado | General Roca, Río Negro. Argentina.," 2017. [Online]. Available: <http://jesservicios.com.ar/sistemas/>. [Accessed: 02-Jan-2018].
- [10] Monelca España, "Climatización, EQUIPOS PARTIDOS BAJA SILUETA." [Online]. Available: <http://www.monelca.com/monelcaspain/html/clima/climatizacion4.html>. [Accessed: 02-Jan-2018].
- [11] Aireacondicionadonet.com, "Aire acondicionado Central," p. 7, 2012.
- [12] LG electronics, "LG Biblioteca de ayuda: Tecnología Inverter (Parte I) | LG Colombia," 2014. [Online]. Available: <http://www.lg.com/co/soporte/ayuda-producto/CT20110064-1431611922876-others>. [Accessed: 02-Jan-2018].
- [13] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, "Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono," *Diario Oficial de la Unión Europea*. p. 41, 2000.
- [14] V. y desarrollo territorial R. de C. Ministerio de ambiente, "Cartilla de refrigeración y Buenas Prácticas," *Diciembre*, 2006. [Online]. Available: <https://nergiza.com/aire-acondicionado-de-ventana-es-una-buena-alternativa/>.
- [15] Intergovernmental Panel on Climate Change Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica, *La Protección de la Capa de Ozono y el Sistema Climático Mundial: Cuestiones relativas a los hidrofluorocarbonos y a los perfluorocarbonos*. 2005.
- [16] LG electronics, "Catálogo de sistemas de aire acondicionado LG Electronics 2010." 2010.
- [17] Panasonic, "Catálogo sistemas para hogares Panasonic." 2010.
- [18] Samsung, "Catálogo sistemas de aire acondicionado Samsung." .

- [19] LG electronics, “Catálogo de sistemas de aire acondicionado LG Electronics.” p. 12, 2017.
- [20] I. Sanz Fernández, “El coste de ciclo de vida en las bombas,” *An. Mecánica y Electr.*, vol. Septiembre, no. October, pp. 16–24, 2003.
- [21] P. D. H. Orozco, Carlos Alberto, “Revista SCIENTIA ET TECHNICA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER,” *Univ. TECNOLÓGICA PEREIRA Stand. Methods Exam. Water Wastewater*, vol. 1, p. 18, 1996.
- [22] E. de energía de Pereira, “Tarifas reguladas empresa de energía de Pereira.” .
- [23] DANE, “Índice de Precios al Consumidor -IPC- Noviembre 2017,” *Colombia*, 2017. [Online]. Available: <http://www.dane.gov.co/index.php/52-espanol/noticias/noticias/4407-indice-de-precios-al-consumidor-ipc-noviembre-2017>. [Accessed: 04-Jan-2018].
- [24] O. Acevedo, “Desarrollo de una metodología basada en análisis de ciclo de vida social, ambiental y económico para reemplazo del HCFC-22 en refrigeración y aire acondicionado comercial e industrial,” Universidad tecnológica de Pereira, Pereira, 2016.
- [25] F. y N. (ACCEFYN) Fecoc, Academia Colombiana de Ciencias exactas, “Calculadora de emisiones UPME.” UPME, 2016.